



TITLE:

Design of Electrical Energy Network Based on Power Packetization(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Nawata, Shinya

CITATION:

Nawata, Shinya. Design of Electrical Energy Network Based on Power Packetization. 京都大学, 2017, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2017-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20373>

RIGHT:

許諾条件により本文は2018-03-23に公開

京都大学	博士（ 工学 ）	氏名	縄 田 信 哉
論文題目	Design of Electrical Energy Network Based on Power Packetization （電力のパケット化による電気エネルギーネットワークの設計）		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、物理層からボトムアップに研究開発が進められてきた電力のパケット化技術に基づき、ネットワーク設計を目指したものである。特に、電力パケットを電力パルスと情報タグにより構成される電力の単位として定義し、量子化・デジタル化された電力の伝送の枠組みを与え、従来のアナログ回路に基づく電力伝送に対して、異なる技術の可能性を数理的に保証している。本論文は6章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、研究の背景、意義、内容、および論文の構成を述べている。また、電力のパケット化技術の研究開発の状況をまとめ、設計目標とするネットワークについて述べている。</p> <p>第2章では、物理層におけるルータの動作を扱い、以下の二点を検討している。(1) まず、同期と情報タグの識別の関係を検討している。具体的には、同期が確立していない場合の情報タグの読み込みを解析し、読み込み誤りの電力パケットの密度への影響を明確にしている。(2) 次に、電力パケットの密度変調による電力の割り当ての可能性を検討している。平均化による解析を行い、数値的に検証している。</p> <p>第3章以降は、ネットワークの問題を扱っている。特に、情報理論を参考に、電力のパケット化を、メッセージとエネルギーの記号系列による同時表現の問題として与えている。記号は電力の最小単位として導入される。これは、量子化・デジタル化された電力伝送の枠組みを与えるものである。</p> <p>第3章では、記号のエネルギーを実数として一意に与え、電力パケットによるエネルギー表現を、総量としてエネルギーを表現する記号系列の集合により検討している。まず、エネルギー表現の存在条件を与えている。次に、表現するエネルギーが大きいとき、ほとんど全ての記号系列に含まれる記号の割合が記号のエネルギーの指数関数として定まる確率で近似できることを証明し、エネルギー表現の漸近的性質を与えている。そして、有限のエネルギーの表現において、漸近的性質を数値的に検証している。</p> <p>第4章では、ネットワークにおける時間的・空間的な記号の伝送を記述する枠組みとして Symbol Propagation Matrix (SPM)を導入している。ここで、電力パケットによるエネルギー伝送が、時空間特徴を表すグラフ上のネットワークフローとして与えられる。次に、電源と負荷での供給エネルギー、ルータにおける蓄積エネルギーの変化、及びリンク上のフローに重み付けを行い、最も伝送可能性の高いネットワークフローを与える問題を考えている。このネットワークフロー問題を、離散凸解析におけるM凸劣モジュラ流問題として定式化している。最後に、最適解が自然な振る舞いをするのが具体例を用いて確認されている。</p> <p>第5章では、電力パケットによるエネルギー伝送のダイナミクスを、エネルギー保存に基づき検討している。まず、第4章で与えた Symbol Propagation Matrix の枠組みの中で、隣接ノードとのみ情報交換が可能という情報の不完全性を考慮し、分散的に需給のマッチングを実現するルータの動作を設計している。ここで設計するネットワークは、記号を受けることを要求するUp-stream要求の情報と記号を送ることを要求するDown-stream要求の情報を隣接ノードと交換し、ルータの蓄積エネルギーを一定の範囲に保ちながら、負荷の要求電力を電源に割り当てるUp-stream問題と電源の供給電力を負荷に配分するDown-stream問題を記号レベルで処理するものである。加えて、連続ダイナミクスの検討を行い、回路のインピーダンスとエネルギーの分配の関係を検討している。</p> <p>第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、今後の将来展望を述べている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、物理層からボトムアップに研究開発が進められてきた電力のパケット化技術に基づき、ネットワーク設計を目指したものである。特に、電力パルスと情報タグにより構成される電力の単位として電力パケットを定義し、量子化・デジタル化された電力の伝送の枠組みを与えた一連の成果をまとめたものである。得られた主な結果は以下の通り要約される。

1. 物理層におけるルータの動作を検討した。まず、同期と情報タグの読み込みの関係を検討した。具体的には、同期が確立していない場合の情報タグの読み込みを解析し、読み込み誤りの電力パケットの密度への影響を明確にした。次に、電力パケットの密度変調による電力の割り当ての可能性を、平均化により解析し、数値的に検証した。
2. 情報理論を参考に、記号を電力の最小単位として与え、電力のパケット化を、メッセージとエネルギーの記号系列による同時表現の問題として与えた。
3. 記号のエネルギーを実数として一意に与え、電力パケットによるエネルギー表現を、総量としてエネルギーを表現する記号系列の集合により検討した。具体的には、まず、エネルギー表現の存在条件を与えた。次に、表現するエネルギーが大きいとき、ほとんど全ての記号系列に含まれる記号の割合が記号のエネルギーの指数関数として定まる確率で近似できることを証明し、エネルギー表現の漸近的性質を与えた。そして、有限のエネルギーの表現において、漸近的性質を数値的に検証した。
4. ネットワークにおける時間的・空間的な記号の伝送を記述する枠組みとして Symbol Propagation Matrix (SPM)を導入した。ここで、電力パケットによるエネルギー伝送を、時空間特徴を表すグラフ上のネットワークフローとして与えた。次に、電源と負荷での供給エネルギー、ルータにおける蓄積エネルギーの変化、及びリンク上のフローに重み付けを行い、最も伝送可能性の高いネットワークフローを与える問題を、離散凸解析における M 凸劣モジュラ流問題として定式化した。最後に、最適解が自然な振る舞いであることを、具体例を用いて確認した。
5. 電力パケットによるエネルギー伝送のダイナミクスを、エネルギー保存に基づき検討した。まず、第4章で与えた Symbol Propagation Matrix の枠組みの中で、隣接ノードとのみ情報交換が可能という情報の不完全性を考慮して、分散的に需給のマッチングを実現するルータの動作を設計し数値的に検証した。ここで設計するネットワークは、記号を受けることを要求する Up-stream 要求の情報と記号を送ることを要求する Down-stream 要求の情報を隣接ノードと交換し、ルータの蓄積エネルギーを一定の範囲に保ちながら、負荷の要求電力を電源に割り当てる Up-stream 問題と電源の供給電力を負荷に配分する Down-stream 問題を記号レベルで処理するものである。加えて、連続ダイナミクスの検討を行い、回路のインピーダンスとエネルギーの分配の関係を検討した。

上記のように本論文では、電力を量子化・デジタル化し、ネットワークにおいて伝送する枠組みを与え、従来のアナログ回路に基づく電力伝送に対して、新しい電力伝送技術確立の可能性を数理的に保証しており、課題提案、設定、検討および成果は極めて独創的であって、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成29年1月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日： 2017 年 3 月 23 日以降